VARIABLE ABDRUECKGESCHWINDIGKEIT MIT OPERATIVER SIMULATION IN SCHWERKRAFT-RANGIERANLAGEN

Dr.-Ing. HELMUT KOENIG, Bern/Schweiz

1. Warum variable Abdrückgeschwindigkeit?

Die quasikontinuierliche Geschwindigkeitssteuerung in Schwerkraft-Rangieranlagen mit Bremselementen gleicht das unterschiedliche Verhalten der Abläufe keineswegs so gut aus wie für hohe bis sehr hohe Stundenleistungen erforderlich. Zudem treten -systembedingt- zusätzliche Unterschiede im Verhalten der Abläufe auf:

Lange Gruppen aus leeren oder leichten Wagen werden in der Verzögerungszone so früh von der Laufgeschwindigkeit in der Weichenzone auf die in der Richtungsgruppe abgebremst, dass sie Folgeabläufe behindern können, vgl. Bild 1.

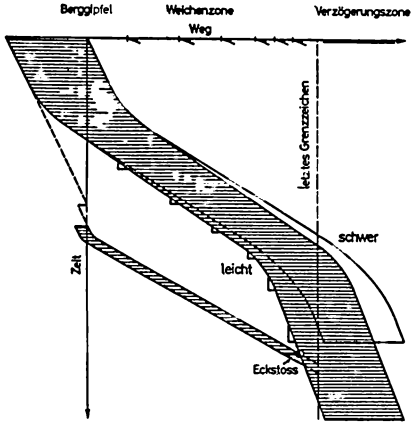


Bild 1: Lange Gruppe vor Einzelablauf

Schwere Gruppen hingegen, die das Arbeitsvermögen der Verzögerungszone voll ausnutzen, werden so spät abgebremst, dass sie auf Vorläufer mit unzulässigem Geschwindigkeitsunterschied aufprallen können.

Da die Schaltgeschwindigkeit der Bremselemente produktionsbedingt um den Sollwert streut, schwere Abläufe aber im Prinzip das Arbeitsvermögen aller Elemente beanspruchen, um auf konstanter Geschwindigkeit gehalten zu werden, leichte Abläufe hingegen nur wenige, so werden sich diese am unteren Grenzwert der Schaltgeschwindigkeit orientieren, jene am oberen, vgl. Bild 2.

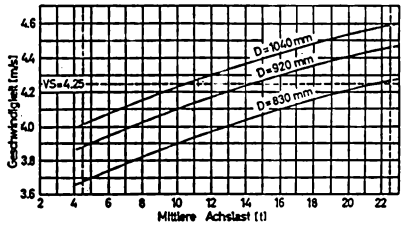


Bild 2: Mittlere Laufgeschwindigkeit in der Weichenzone des ZVbf Wien (nach Messungen im Januar 88)

Ausser bei den ASEA-Schraubenbremsen beeinflusst der Raddurchmesser die Laufgeschwindigkeit der Abläufe: Solche mit grossen Rädern laufen schneller als die mit kleinen. Die Bandbreite der Raddurchmesser ist in Europa recht gross; sie reicht für bergfähige Wagen von bis vor kurzem 1040 mm, heute 1000 bis 625 mm, was bezogen auf eine nominelle Schaltgeschwindigkeit von 4,25 m/s zu einem Geschwindigkeitsband von etwa 4,39 bzw. 4,34 bis 3,59 m/s führt.

In allen Schwerkraftanlagen, also auch denen mit punktförmiger, steuerbarer Geschwindigkeitsbeeinflussung zB. mit Balkengleisbremsen beeinflusst die Massen- und Achsverteilung vor allem langer Gruppen die mögliche Abdrückgeschwindigkeit erheblich und zwar nicht nur im Fall des Nachlaufs in dasselbe Richtungsgleis, sondern auch bei Gabelung in der Weichenzone, vgl. [1].

Da die Bremselemente der quasikontinuierlichen Geschwindigkeitssteuerung von aussen nicht zu beeinflussen sind, bleibt als einziges Mittel, den erforderlichen Abstand zwischen den Abläufen zu erzwingen, die Variation der Abdrückgeschwindigkeit.

2. Tabelle oder operative Simulation?

Als 1979 der Entscheid über das System der Geschwin-

digkeitssteuerung im Zentralverschiebebahnhof Wien (ZVbf) zu treffen war, bestand klarheit darüber, dass die geforderte Leistung von 300 Wgn/h bzw. etwa 5500 Wgn/d bei Einsatz der quasikontinuierlichen Geschwindigkeitssteuerung nur erreichbar wäre, wenn die Abdrückgeschwindigkeit in Funktion der Eigenschaften der Abläufe und ihrer Folge variiert würde. Im Rahmen der Voranalyse durchgeführte Simulationen hatten erkennen lassen, dass bei konstant gehaltener Abdrückgeschwindigkeit diese allenfalls bei 0,7 m/s, eher bei 0,5 m/s liegen würde, während doch ihr Mittelwert wegen der verlangten Leistung etwa bei 1,3 bis 1,4 m/s liegen sollte.

Zur Zeit des Systementscheids für den ZVbf Wien gab es in Europa einige kleinere Ablaufanlagen mit quasikontinuierlicher Geschwindigkeitssteuerung, zB. Scunthorpe, Hälsingborg, die an die mögliche Abdrückgeschwindigkeit keine sehr hohen Anforderungen stellten. Die grösste damals bekannte Anlage war Perth-Forrestfield im Westaustralien, die aber von ihrem Durchsatz her auch nur als mittelgross zu bezeichnen war. Bekannt war ausserdem, dass die South African Railways sich entschlossen hatten, in ihrem Höchstleistungsbahnhof Johannesburg die quasikontinuierl. Geschwindigkeitssteuerung anzuwenden.

Unter bestimmten Voraussetzungen praktikable Algorithmen für die Ermittlung der im Einzelfall zulässigen Abdrückgeschwindigkeit gab es 1979 schon, zB. in Hamburg-Maschen. Die Untersuchung des Problems zeigte jedoch, dass die vorhandenen Lösungen im Fall des ZVbf Wien nicht genügen würden. Im besonderen fehlte die Behandlung langer Gruppen, auch mit ungleichmässiger Massenverteilung, im Bereich der Verzögerungszone.

Die Voranalyse von 1978, deren Ziel es ua. war, den Nachweis zu erbringen, dass bei Variation der Abdrückgeschwindigkeit der für eine Leistung von 300 Wgn/h erforderliche Mittelwert erreicht werden würde, ging von einer Lösung aus, bei der die Räum- und Belegzeiten der Weichenzonen und Grenzzeichen sowie der Nachlauffolgefall im Rechner in mehrdimensionalen Tabellen gespeichert werden sollten.

Als anfangs der 80er Jahre deutlich wurde, dass es keinen Kennwert gibt, der das Verhalten von Abläufen mit ungleichmässiger Massen- und Achsverteilung eindeutig aus dem für gleichmässige Verteilung abzuleiten gestattet, musste die Lösung mit vorberechneten Tabellen aufgegeben und der Weg der operativen Simulation beschritten werden.

Auf diese hatte bereits Eiden in [2] aufmerksam gemacht, ohne damals für seine Gedanken Verständnis zu finden. Zudem wäre eine Realisierung Ende der 60er Jahre wohl noch an der geringen Leistungsfähigkeit der verfügbaren Prozessrechner gescheitert.

Die operative Simulation war aber auch deswegen vorzuziehen, weil sie sich allfälligen, während der Inbetriebnahmeversuche ergebenden Aenderungen wesentlich leichter anpassen lässt: Der Aufwand, die Stützstellen der Tabellen jeweils neu zu berechnen, wäre prohibitiv gewesen. Tatsächlich zwangen die Versuche zu solchen Aenderungen: Eine die statistische Verteilung der Schaltgeschwindigkeit berücksichtigende "Pseudo"-Abhängigkeit der Laufgeschwindigkeit von der mittleren Achslast der Abläufe musste eingebaut und später bei Einführung der sog. Winter-Retarder geändert werden; in der Verzögerungszone musste die Endlast von 1,9 auf 1,7 t reduziert werden, um Entgleisungen langer leichter zweiachsiger Wagen an der Spitze von Gruppenabläufen zu vermeiden. Die Verzögerungszone selbst war dementsprechend zu verlängern.

Anfangs der 80er Jahre war die Entwicklung der Prozessrechner soweit gediehen, dass die operative Simulation machbar erschien. Immerhin waren zwei parallel arbeitende, an das Dispositionssystem angeschlossene Hilfsrechner erforderlich, um nach Erstellen der Zerlegeliste diese zeitschritthaltend mit den zulässigen Abdrückgeschwindigkeiten zu ergänzen.

3. Der wesentliche Aufbau der operativen Simulation

Nach Abschluss der Datenaufnahme und Erstellen der Zerlegeliste wird die Zeit/Weg-Linie jedes Ablaufs mit seiner wirklichen Achs- und Massenverteilung mindestens einmal als Nachläufer und nach Abschluss der Berechnung der zulässigen Abdrückgeschwindigkeit als Vorläufer simuliert.

Das dafür verwendete Programm ist eine vereinfachte Version des Programms "Ablaufberg" der Schweizerischen Bundesbahnen. In der Version für die operative Simulation enthält es nur die Routinen und Zweige, die für die Nachbildung der quasikontinuierlichen Geschwindigkeitssteuerung nötig sind.

Als Nachläufer wird jeder Ablauf mit den im Rahmen seiner Länge und mittleren Achslast möglichen Eigenschaften eines Grenz-Gutläufers (Summenhäufigkeit 0,1%), als Vorläufer sinngemäss mit denen eines Grenz-Schlechtläufers (Summenhäufigkeit 99,8%) simuliert. Dies bedeutet nicht nur entsprechende Rollwiderstände, vgl. Bild 3, sondern auch passende Raddurchmesser. Diese werden in zwei Klassen, "normale" (1040 bis 830 mm) und "kleine" (830 bis 625 mm) eingeteilt. Wagen mit "kleinen" Rädern sind an ihrer Bauart dem Wagendatenaufnehmer ohne weiteres erkennbar.

Beide Zeit/Weg-Linien bilden bei gegebener Abdrück-

geschwindigkeit eine "Trompete", vgl. Bild 4. Die Abdrückgeschwindigkeit wird unter Berücksichtigung von deren möglicher Aenderung so lange vergrössert bzw. verkleinert, dass an der massgebenden Stelle (Weichenwirkzone, Grenzzeichen; Nachlauf) keine Behinderung des massgebenden Vorläufers mehr bzw. noch keine Behinderung eintritt, wobei noch eine gewisse Toleranz gewahrt wird. Der massgebliche Vorläufer muss keineswegs der unmittelbare Vorläufer, sondern kann irgendein Ablauf innerhalb des sog. Rückschaubereichs sein, vgl. das weiter unten Gesagte.

Die operative Simulation der Abläufe eines Zuges muss spätestens beendet sein, wenn die mit den Abdrückgeschwindigkeiten ergänzte Zerlegeliste dem Operationsrechner überspielt wird.

Die Variation der Abdrückgeschwindigkeit ist, wenn die Kupplungen der zu zerlegenden Züge erst am Ablaufberg ausgeworfen werden, durch die Arbeitsgeschwindigkeit des Auswerfers begrenzt (in Wien auf 1,6 m/s), ferner durch die im Hinblick auf Zerrungen bzw. Stauchungen im Zug tunliche Verzögerung bzw. Beschleunigung (in Wien 0,025 m/s^2).

Diese wird von der Lokomotivregelung lastunabhängig konstant gehalten, so dass der Einfluss von Geschwindigkeitsänderungen auf die Ablauffolge gut zu mathematisieren ist, vgl. Bild 5.

Eine Geschwindigkeitsänderung für einen Ablauf wird erst dann begonnen, wenn dessen Vorläufer sicher nicht mehr von ihr beeinflusst werden kann, also definitiv abgelöst hat bzw. zu beschleunigen beginnt. Bei der Simulation wird mehrfaches Ablösen und gegebenenfalls auch Wiederaufpuffern auf den Restzug berücksichtigt, was bei längeren Gruppenabläufen mit ungleichmässiger Massenverteilung gern vorkommt.

Wesentlich für die einwandfreie Ermittlung der zulässigen Abdrückgeschwindigkeit ist, dass alle Vorläufer, die von dem betrachteten Ablauf beeinflusst werden könnten, in die Untersuchung einbezogen werden. Tatsächlich ist das uU. nicht der unmittelbare Vorläufer, sondern ein anderer, früher abgelaufener, der aber, weil zB. lang und leicht, die Weichenzone nur zögernd räumt, vgl. Bild 1. Der Bereich, in dem Abläufe von dem betrachteten Ablauf beeinflusst werden könnten, ist der sog. Rückschaube-

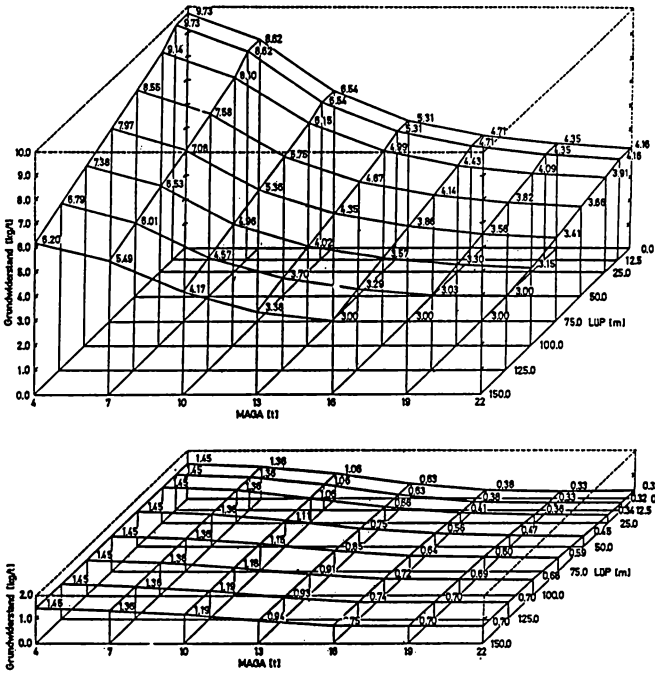


Bild 3: Grundwiderstände der Abläufe für die operative Simulation
oben: Vorläufer, unten: Nachläufer

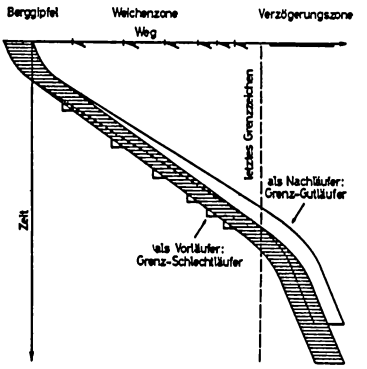
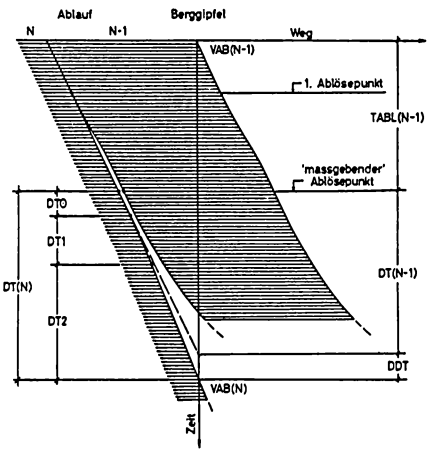


Bild 4: 'Trompete' der Zeit/Weglinien eines Ablaufs als Vor- und Nachläufer



DTO Reaktionszeit
DT1 Zeit, während der beschleunigt wird
DT2 Zeit, während der mit der neuen Geschwindigkeit gefahren wird

Bild 5: Ablauffolgezeitzuschlag DDT

reich, der aus den Daten des betrachteten Ablaufs und der Annahme eines Vorläufers grösstmöglicher Länge (in Wien 150 m) bei kleinstmöglicher mittlerer Achslast (4,5 t), Konzentration der Achsen (und damit der Masse) an beiden Enden, Raddurchmessern an der unteren Grenze des Bereichs "kleiner" Räder und im übrigen den Eigenschaften eines Grenz-Schlechtläufers, der mit der grössten zulässigen Geschwindigkeit abgedrückt wird, getrennt für Gabelung auf der letzten Verteilweiche und Nachlauf in dasselbe Richtungsgleis berechnet wird.

Da eine Lösung in geschlossener Form nicht möglich ist, muss die Berechnung der im Einzelfall zulässigen Abdrückgeschwindigkeit ausgehend von einem Schätzwert iterativ erfolgen.

Erstreckt sich eine Geschwindigkeitsänderung über frühere Abläufe, was möglich ist, so werden diese neu simuliert, um verlässliche Werte für die Laufzeitüberwachung zu bekommen.

Das von der operativen Simulation so ermittelte Geschwindigkeitsprofil kann, anders als bei den bisher bekannten Verfahren, von der Berglok immer eingehalten werden.

4. Schlussbemerkungen

Die operative Simulation hat sich in Wien bestens bewährt. Falschläufer und Eckstösse sowie Aufpräller kommen praktisch nicht vor. Die mit ihr mögliche Laufzeitüberwachung gestattet es, rechtzeitig Schutzmassnahmen zu treffen. Denn Ultra-Schlechtlaufverhalten ist viel früher zu erkennen als bei dem bisherigen Verfahren, lange bevor ein solcher Ablauf aus seiner "Trompete" ausbricht.

Die operative Simulation kann natürlich auch in Ablaufanlagen mit "konventioneller" Geschwindigkeitssteuerung (mit Talbremsen und Richtungsgleisbremsen sowie Förderwagen) eingesetzt werden. Ein entsprechendes Pflichtenheft für den Hauptablaufberg des RB Limmattal der Schweizerischen Bundesbahnen wurde bereits erstellt.

Schliesslich sei darauf hingewiesen, dass die operative Simulation auch planerisch eingesetzt werden kann, zB. zur Ermittlung der möglichen Stundenleistung einer geplanten Anlage.

Literatur

[1] König, H.: Zur Frage von Einfluss und Beherrschbarkeit von Abläufen mit ungleichmässiger Massen- und Achsverteilung in Schwerkraftrangieranlagen - Rangiertechnik und Gleisanschlusstechnik - N. 44 - 1984/85 - S. 5-10

[2] Eiden, W.: Problemanalyse und Verfahren für eine programmgesteuerte veränderliche Abdrückgeschwindigkeit - Rangiertechnik - N. 29 - 1969 - S. 13-40